

**Irrigação com Água Produzida na
Extração de Petróleo:
Efeitos sobre a Salinidade do Solo e a
Produtividade da Mamoneira**



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 118

Irrigação com Água Produzida na Extração de Petróleo: Efeitos sobre a Salinidade do Solo e a Produtividade da Mamoneira

*Fábio Rodrigues de Miranda
Lindbergue Araujo Crisostomo
Olmar Baller Weber
Francisco Leandro Barbosa da Silva
Fernando Antônio Souza de Aragão
Maria Elisabeth Silveira Barros*

Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2016

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical
Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (85) 3391-7100
Fax: (85) 3391-7109
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê de Publicações da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente: *Gustavo Adolfo Saavedra Pinto*

Secretária-executiva: *Celli Rodrigues Muniz*

Secretária-administrativa: *Eveline de Castro Menezes*

Membros: *Janice Ribeiro Lima, Marlos Alves Bezerra, Luiz Augusto Lopes Serrano,
Marlon Vagner Valentim Martins, Guilherme Julião Zocolo, Rita de
Cássia Costa Cid, Eliana Sousa Ximendes*

Supervisão editorial: *Sérgio César de França Fuck Júnior*

Revisão de texto: *Marcos Antônio Nakayama*

Normalização: *Rita de Cassia Costa Cid*

Fotos da capa: *Fábio Rodrigues de Miranda*

Editoração eletrônica: *Arilo Nobre de Oliveira*

1ª edição

On-line (2016)

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Agroindústria Tropical

Irrigação com água produzida na extração de petróleo: efeitos sobre a salinidade do solo e a produtividade da mamoneira / Fábio Rodrigues de Miranda... [et al.]. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2016.

29 p. ; 15 cm x 21 cm. – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 118).

Publicação disponibilizada on-line no formato PDF.

1. *Ricinus communis*. 2. Reuso de água. 3. Salinização. I. Miranda, Fábio Rodrigues de. II. Crisostomo, Lindbergue Araujo. III. Weber, Olmar Baller. IV. Silva, Francisco Leandro Barbosa da. V. Aragão, Fernando Antônio Souza de. VI. Barros, Maria Elisabeth Silveira. VII. Série.

CDD 631.587

© Embrapa 2016

Sumário

Resumo	4
Abstract.....	6
Introdução.....	7
Material e Métodos.....	9
Resultados e Discussão.....	13
Conclusões.....	27
Agradecimentos	27
Referências	28

Irrigação com Água Produzida na Extração de Petróleo: Efeitos sobre a Salinidade do Solo e a Produtividade da Mamoneira

Fábio Rodrigues de Miranda¹

Lindbergue Araujo Crisostomo²

Olmar Baller Weber³

Francisco Leandro Barbosa da Silva⁴

Fernando Antônio Souza de Aragão⁵

Maria Elisabeth Silveira Barros⁶

Resumo

Este trabalho objetivou avaliar os efeitos da irrigação com água produzida no processo da extração de petróleo sobre o rendimento da mamoneira e a salinidade do solo, em comparação com a irrigação utilizando água do subsolo. O experimento foi instalado em solo Neossolo Quartzarênico, em Aracati, CE. Os tratamentos consistiram da irrigação com dois tipos de água produzida na extração do petróleo, uma tratada por filtração (APF) e outra tratada por osmose reversa (APO), e, como testemunha, água natural captada do aquífero Açu (ACA). A irrigação foi por gotejamento, em dois ciclos de cultivo sucessivos da mamoneira 'BRS Energia'. A irrigação com APO não afetou negativamente a produtividade da cultura, a salinidade (CE_{es}) e

¹ Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Engenharia de Biosistemas, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, fabio.miranda@embrapa.br

² Engenheiro-agrônomo, Ph.D. em Química Agrícola e Solos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, lindbergue.crisostomo@embrapa.br

³ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, olmar.weber@embrapa.br

⁴ Engenheiro-agrônomo, doutorando em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

⁵ Engenheiro-agrônomo, D.Sc. em Melhoramento Genético Vegetal, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, fernando.aragao@embrapa.br

⁶ Engenheira-química, D.Sc. em Nutrição, pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, elisabeth.barros@embrapa.br

a sodicidade (Na^+ trocável e PST) do solo em relação à testemunha, podendo essa água ser utilizada sem restrições na irrigação da mamoneira. A irrigação com APF reduz a produtividade da mamoneira 'BRS Energia' em 30% comparada à testemunha. O solo irrigado com APF apresenta níveis mais elevados de salinidade e sodicidade em relação ao solo irrigado com ACA e APO.

Termos para indexação: *Ricinus communis*, reúso de água, salinização.

Irrigation with Produced Water from the Oil Extraction Process: Effects on Soil Salinity and Yield of Castor Bean

Abstract

The study aimed to evaluate the effects of irrigation with treated produced water over yield of castor bean and soil salinity, comparing the results with irrigation using groundwater. The experiment was carried out in a Typic Quartzipsamment, in Aracati, CE, Brazil. Treatments consisted of drip irrigation, in two successive crop cycles of castor bean 'BRS Energy', with three types of water: produced water treated by filtration (APF), produced water treated by reverse osmosis (APO) and groundwater from the aquifer Açú (ACA). Irrigation with APO did not negatively affect castor bean yield, soil salinity (ECe) and exchangeable sodium percentage (ESP) as compared to the control, thus, this water may be used without restriction for irrigation of castor bean. Irrigation with APF reduces the yield of castor bean BRS Energy by 30% as compared to control. The soil irrigated with APF presents higher levels of salinity and sodicity as compared to irrigation with ACA and APO.

Index terms: Ricinus communis, water reuse, salinization.

Introdução

Água produzida (AP) é a água aprisionada nas formações subterrâneas que é trazida à superfície juntamente com petróleo e gás e caracterizada como subproduto durante o processo de separação destes fluidos para que possam ser transformados em produtos comerciais (MOTTA et al., 2013). A AP representa o maior volume de efluentes líquidos gerados nas atividades de produção de petróleo (AMINI et al., 2012), com um volume anual mundial de mais de 43 milhões de m³ por dia, considerando-se a produção mundial de petróleo de 13,8 milhões de m³ por dia, em 2013, e a relação entre os volumes de AP e petróleo de 3,12, citada por Motta et al. (2013). Segundo Nunes (2010), a produção aproximada de AP no Brasil foi de 608 mil m³ por dia, em 2009.

A composição da AP está intimamente ligada à composição do petróleo e seus principais compostos constituintes são: óleo, minerais dissolvidos, compostos químicos residuais, sólidos da produção, gases dissolvidos e microrganismos (MOTTA et al., 2013). A concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) na AP varia de 100 mg L⁻¹ até 300.000 mg L⁻¹, dependendo da localização geográfica, da idade e tipo do reservatório de petróleo, predominando os íons Na⁺ e Cl⁻ (STEWART; ARNOLD, 2011).

As principais alternativas para o gerenciamento da AP são: a) a injeção na mesma formação a partir da qual o óleo foi produzido ou em outra formação; b) o descarte no ambiente após tratamento para atender às regulamentações vigentes; c) a reutilização na exploração de petróleo e gás; d) o consumo, após o devido tratamento para atender à qualidade exigida para usos benéficos, como irrigação de cultivos, restauração de áreas vegetais, dessedentação animal e como água potável (ARTHUR et al., 2005).

A adequação da AP para uso na irrigação agrícola depende de sua qualidade e das propriedades do solo. Segundo Ayers e Westcot (1985), os parâmetros mais críticos para o uso da água na irrigação são: salinidade, sodicidade e toxicidade à biota do solo e às plantas.

Esses fatores devem ser considerados em relação às características inerentes ao solo irrigado, como textura, drenagem e química.

As culturas apresentam diferentes graus de tolerância à salinidade do solo, e quando esta está acima de um limiar específico para cada espécie, o rendimento diminui, devido à redução na absorção de água pela planta. A irrigação com águas com elevada razão de adsorção de sódio (RAS) pode levar à dispersão das partículas de argila, causando compactação do solo e, como consequência, à redução de sua permeabilidade. Com relação à toxicidade para as plantas, os íons específicos mais tóxicos são Na^+ , Cl^- e B (AYERS; WESTCOT, 1985).

Apesar do número limitado de estudos e experiências de campo utilizando AP na irrigação, águas de irrigação salinas e/ou sódicas são comumente utilizadas em regiões agrícolas e podem representar um recurso valioso se forem adotadas práticas de gestão adequadas (ALL CONSULTING, 2003). Exemplos de uso da AP tratada na irrigação de cultivos são citados por All Consulting (2003), Allen e Robinson (1993) e Fakhru'l-Razi et al. (2009). Em virtude dos possíveis riscos de contaminação envolvidos, geralmente são utilizadas culturas não alimentares.

A mamona (*Ricinus communis* L.) destaca-se como alternativa para a produção de biodiesel e de óleo com excelentes características industriais. Seu cultivo tem sido incentivado em virtude de a cultura apresentar boa adaptação às condições climáticas do Nordeste brasileiro e possibilitar geração de emprego e renda na agricultura familiar (LIMA et al., 2015; NOBRE et al., 2012).

O presente estudo teve como objetivos avaliar o efeito da irrigação com águas produzidas no processo de extração de petróleo e posteriormente tratadas, na produtividade de mamona e na salinidade do solo, e compará-las com a irrigação com água natural captada de poço.

Material e Métodos

O experimento foi instalado na fazenda Belém, em Aracati, CE (latitude 4°44,7' S, longitude 37°32,3' O, altitude 82 m). Segundo os resultados da análise de solo, ele foi classificado como Neossolo Quartzarênico, de baixa fertilidade natural (Tabela 1).

O delineamento foi em blocos ao acaso, com três repetições. Os tratamentos consistiram da irrigação com água produzida no processo de extração de petróleo, sendo parte tratada por filtração (APF) e parte tratada por osmose reversa (APO), além do uso da água natural do subsolo captada do aquífero Açu (ACA). As avaliações se deram em dois ciclos de cultivo sucessivos da mamoneira, sendo as parcelas com dimensões de 20 m por 20 m.

Tabela 1. Granulometria e atributos químicos do solo da área experimental da Fazenda Belém.

Parâmetro	Unidade	Profundidade (m)		
		0–0,15	0,16–0,60	0,61–1,00
Areia	g kg ⁻¹	942,3	945,3	956,0
Silte	g kg ⁻¹	40,1	32,3	18,4
Argila	g kg ⁻¹	17,6	22,4	25,6
pH	-	6,3	6,8	7,2
Ca ²⁺	mmol _c kg ⁻¹	16,0	22,0	12,0
Mg ²⁺	mmol _c kg ⁻¹	16,0	16,0	22,0
K ⁺	mmol _c kg ⁻¹	1,0	0,0	0,0
Na ⁺	mmol _c kg ⁻¹	1,0	1,0	1,0
H ⁺ + Al ³⁺	mmol _c kg ⁻¹	16,0	6,0	6,0
CTC	mmol _c kg ⁻¹	50,0	45,0	41,0
(V)	%	67,9	86,7	85,4

Os cultivos foram realizados nos meses de agosto a dezembro de 2012 e abril a agosto de 2013, utilizando-se sementes da cultivar de mamona BRS Energia. No primeiro ciclo, a adubação de plantio consistiu na aplicação de 75 t ha⁻¹ de composto orgânico (Pole Fertil,

Integral Agroindustrial Ltda.), 20 kg ha⁻¹ de N (fonte ureia), 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte superfosfato simples) e 25 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte cloreto de potássio). Já no segundo ciclo, a dose de composto orgânico foi reduzida para 1/3 da quantidade inicial, mantendo-se as doses dos demais fertilizantes e a forma de aplicação (em sulcos).

O plantio foi realizado em sulcos com 0,15 m de profundidade e 0,15 m de largura, espaçados a 1,0 m entre linhas e 1,0 m entre plantas, sendo distribuídas duas a três sementes na cova. Após 20 dias da emergência, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por cova.

Aos 30 dias após a emergência, as plantas receberam adubação de cobertura na linha de plantio, aplicando-se 30 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia.

A partir do plantio, as irrigações foram realizadas com frequência diária, e as lâminas de irrigação, determinadas com base na estimativa da evapotranspiração da mamoneira e na uniformidade de distribuição do sistema de irrigação (92%), considerando-se ainda a fração de lixiviação de 0,1. O sistema de irrigação adotado foi o gotejamento, utilizando-se uma linha de tubogotejadores por fileira de plantas, com emissores de vazão nominal de 1,0 L h⁻¹, espaçados de 0,3 m.

Nos dois ciclos, as irrigações foram iniciadas dois dias antes do plantio, aplicando-se lâminas necessárias para umedecer o solo, até a profundidade de 1,0 m, com base na capacidade de retenção de água do solo. Em ambos os ciclos, as irrigações foram suspensas aos 136 dias após o plantio, para permitir a secagem dos racemos e dos grãos.

As águas utilizadas na irrigação, além da água natural do subsolo (ACA), foram fornecidas pela Petrobras, Unidade de Operação da Fazenda Belém, em que a água produzida na extração de petróleo em diversos poços foi tratada por processos de filtração (APF) ou de osmose reversa (APO). As quantidades de água aplicadas por tratamento foram medidas com hidrômetros. A precipitação pluvial e as lâminas de água aplicadas na irrigação nos tratamentos nos dois ciclos de cultivo são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Precipitação pluviométrica e lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos em dois ciclos de cultivo da mamoneira.

Ciclo	Precipitação (mm)	Lâmina de irrigação (mm)		
		ACA	APF	APO
C ₁	3	468	432	263
C ₂	449	362	337	340

No primeiro ciclo de cultivo da mamoneira, houve diferenças entre as lâminas de água aplicadas nos tratamentos em virtude de ajustes na planta industrial da Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.). No segundo ciclo de cultivo, o fornecimento das águas foi regular e as lâminas totais aplicadas foram semelhantes nos três tratamentos.

Durante a realização do experimento, foram coletadas mensalmente amostras dos três tipos de água para análises de pH, condutividade elétrica (CE_a), Ca, Mg, Na, K, Cl, CO₃, HCO₃, razão de adsorção de sódio (RAS), hidrocarbonetos aromáticos – benzeno, tolueno, etilbenzeno e os isômeros do xileno (BTEX) – e hidrocarbonetos policíclicos (HPAs), cujos resultados são apresentados na Tabela 3. Nas amostras analisadas, não foram detectados hidrocarbonetos aromáticos, nem hidrocarbonetos policíclicos.

Tabela 3. Médias e desvios padrões de parâmetros físico-químicos da água captada do aquífero Açu (ACA) e das águas produzidas no processo de extração de petróleo e tratadas por filtração (APF) e por osmose reversa (APO).

Parâmetro	Unidade	ACA		APF		APO	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP
pH	-	8,11	0,22	8,46	0,36	7,56	0,67
CE _a	dS m ⁻¹	0,72	0,09	2,67	0,69	0,53	0,32
Ca ²⁺	mmol _c L ⁻¹	0,22	0,03	0,16	0,08	0,10	0,11
Mg ²⁺	mmol _c L ⁻¹	0,13	0,03	0,30	0,20	0,07	0,07
Na ⁺	mmol _c L ⁻¹	10,96	8,34	17,70	7,11	4,54	2,98
K ⁺	mmol _c L ⁻¹	0,83	0,64	14,18	9,61	0,40	0,39
Cl ⁻	mmol _c L ⁻¹	3,29	0,86	17,72	8,19	2,50	2,14
CO ₃ ²⁻	mmol _c L ⁻¹	0,62	0,35	1,43	0,57	0,35	0,42
HCO ₃ ⁻	mmol _c L ⁻¹	2,79	0,50	3,51	0,85	1,38	1,27
RAS	(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	22,61	17,02	39,82	18,54	20,89	19,38

A APF apresentou valores mais altos de CE_a , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} e razão de adsorção de sódio (RAS), quando comparada às águas APO e ACA. A APO apresentou níveis mais baixos de pH, Ca^{2+} , Na^+ , e HCO_3^- em relação à ACA.

Em todas as parcelas, antes do primeiro plantio (T_0) e ao final de cada ciclo de cultivo (C_1 e C_2), foram retiradas amostras por camada do solo (0-0,2 m; 0,2-0,4 m; 0,4-0,6 m; 0,6-0,8 m e 0,8-1,0 m). Cada amostra era composta de 10 subamostras simples, coletadas ao longo das fileiras de cultivo. As amostras foram analisadas no Laboratório de Solos da Embrapa Agroindústria Tropical, quanto aos valores de pH em água (1:2,5), condutividade elétrica do extrato saturado (CE_{es}), razão de adsorção de sódio no extrato saturado, teor de Na^+ trocável e porcentagem de sódio trocável (PST), seguindo os métodos descritos em Silva (2009).

A produtividade da mamoneira foi estimada com base na produção de grãos da área útil de 16 m x 16 m (256 m²), no centro de cada parcela. Os racemos com as bagas foram colhidos manualmente, aos 145 dias após o plantio, secos ao ar natural, descascados manualmente, sendo pesados os grãos. Além da produção, foi quantificada a massa de mil sementes.

Os dados das análises de solo, por camada, e de produtividade da cultura foram submetidos à análise de variância, considerando parcelas subdivididas no tempo, sendo três tipos de água de irrigação (parcela) e dois ciclos de cultivo (subparcela). As médias foram comparadas entre si pelo teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Características físico-químicas e químicas do solo

Nos dois ciclos de cultivo da mamoneira, foram detectadas diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os tratamentos, em diferentes camadas do solo, para as variáveis pH, condutividade elétrica do extrato saturado (CE_{es}), teor de sódio trocável (Na^+), razão de adsorção de sódio (RAS) e porcentagem de sódio trocável (PST) (Tabela 4). Houve interação significativa entre os tratamentos de irrigação e os ciclos de cultivo para as variáveis pH (em todas as camadas do solo), Na^+ (todas as camadas, com exceção de 0,4-0,6 m) e PST (apenas na camada de 0,2-0,4 m).

A resposta do pH do solo à irrigação com as diferentes águas variou com o ciclo de cultivo (Tabelas 5 a 9). No primeiro ciclo, o solo irrigado com a APO apresentou valores mais baixos de pH em relação aos tratamentos APF e ACA, em todas as camadas de solo. Nas camadas de 0,0 m a 0,4 m, não houve diferença de pH entre o tratamento APF e a testemunha (ACA). No entanto, nas camadas de 0,4 m a 1,0 m, o solo irrigado com APF apresentou maior valor de pH em relação à testemunha.

No segundo ciclo de cultivo, não foram observadas diferenças significativas no pH do solo entre os tratamentos de irrigação. O solo irrigado com APF apresentou redução significativa do pH em todas as camadas em relação ao primeiro ciclo. Por outro lado, no solo irrigado com APO ocorreu aumento do pH em todas as camadas, quando comparado ao primeiro ciclo.

Tabela 4. Resumo da análise de variância dos dados de pH, condutividade elétrica (CEes), razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado, teor de sódio trocável (Na+) e porcentagem de sódio trocável (PST) em diferentes camadas do solo.

Profundidade 0,0–0,2 m						
F.V.	GL	F				
		pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	25,53**	12,64**	51,76**	48,66**	15,64**
Ciclo	1	2,52 ^{ns}	42,53**	2,75 ^{ns}	27,04**	63,47**
A x C	2	9,83**	1,50 ^{ns}	1,20 ^{ns}	5,11*	3,01 ^{ns}
Resíduo	10	-	-	-	-	-
Profundidade 0,2–0,4 m						
F.V.	GL	F				
		pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	13,54**	16,64**	69,50**	141,66**	118,90**
Ciclo	1	0,93 ^{ns}	13,52**	2,23 ^{ns}	37,43**	41,55**
A x C	2	14,33**	0,23 ^{ns}	3,17 ^{ns}	17,15**	13,93**
Resíduo	10	-	-	-	-	-
Profundidade 0,4–0,6 m						
F.V.	GL	F				
		pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	22,12**	22,80**	231,62**	78,58**	73,51**
Ciclo	1	0,90 ^{ns}	11,70**	33,59**	13,11**	14,83**
A x C	2	11,66**	0,53 ^{ns}	2,62 ^{ns}	2,85 ^{ns}	4,09 ^{ns}
Resíduo	10	-	-	-	-	-
Profundidade 0,6–0,8 m						
F.V.	GL	F				
		pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	27,99**	33,68**	42,72**	95,69**	43,97**
Ciclo	1	1,29 ^{ns}	1,28 ^{ns}	4,93 ^{ns}	4,27 ^{ns}	5,10*
A x C	2	19,19**	1,06 ^{ns}	1,36 ^{ns}	5,52*	4,05 ^{ns}
Resíduo	10	-	-	-	-	-
Profundidade 0,8–1,0 m						
F.V.	GL	F				
		pH	CE _{es}	RAS	Na ⁺	PST
Água	2	27,62**	38,43**	80,63**	156,60**	55,36**
Ciclo	1	9,36*	2,08 ^{ns}	5,60*	1,15 ^{ns}	2,94 ^{ns}
A x C	2	22,88**	1,14 ^{ns}	0,27 ^{ns}	8,78**	5,57 ^{ns}
Resíduo	10	-	-	-	-	-

^{ns} Não significativo; * e ** significativo a 0,05 e 0,01 de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Tabela 5. Médias de pH, condutividade elétrica (CEes), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,0 m a 0,2 m, antes do plantio (T0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	T ₀	Ciclo de cultivo ⁽¹⁾		Média
		1	2	
pH				
APO	6,42	7,67 bB	8,09 aA	7,88
APF	6,37	8,81 aA	8,40 bA	8,61
ACA	6,49	8,68 aA	8,26 bA	8,47
Média	-	8,39	8,25	-
CE _{es} (dS m ⁻¹)				
APO	0,20	1,80	0,65	1,44 B
APF	0,20	3,46	1,49	2,48 A
ACA	0,18	1,98	0,79	1,39 B
Média	-	2,42 a	0,98 b	-
Na (mmol _c kg ⁻¹)				
APO	0,12	1,55 aC	1,33 aB	1,44
APF	0,11	5,76 aA	3,54 bA	4,65
ACA	0,12	3,61 aB	1,87 bB	2,74
Média	-	3,64	2,25	-
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}				
APO	0,45	2,77	3,14	2,95 C
APF	0,38	17,26	15,24	16,25 A
ACA	0,40	9,99	6,30	8,14 B
Média	-	10,00 a	8,23 a	-
PST (%)				
APO	0,38	4,09	3,65	3,87 C
APF	0,52	18,30	13,08	15,69 A
ACA	0,40	11,24	6,71	8,98 B
Média	-	11,21 a	7,81 b	-

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 6. Médias de pH, condutividade elétrica (CEes), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,2 m a 0,4 m, antes do plantio (T0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	T ₀	Ciclo de cultivo ⁽¹⁾		Média
		1	2	
pH				
APO	6,82	7,48 bB	8,24 aA	7,86
APF	6,78	8,87 aA	8,29 bA	8,58
ACA	6,80	8,58 aA	8,08 bA	8,33
Média	-	8,31	8,20	-
CE _{es} (dS m ⁻¹)				
APO	0,11	0,70	0,43	0,56 B
APF	0,11	1,40	1,00	1,20 A
ACA	0,12	0,86	0,45	0,65 B
Média	-	0,99 a	0,63 b	-
Na (mmol _c kg ⁻¹)				
APO	0,12	0,54 aC	0,82 aC	0,68
APF	0,11	5,05 aA	3,03 bA	4,04
ACA	0,12	3,00 aB	1,76 bB	2,38
Média	-	2,87	1,87	-
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}				
APO	0,67	3,57	4,94	4,26 C
APF	0,77	13,07	16,22	14,65 A
ACA	0,45	9,50	8,23	8,87 B
Média	-	8,72 a	9,79 a	-
PST (%)				
APO	0,55	3,57 aC	4,23 aC	3,90
APF	0,57	29,95 aA	17,24 bA	23,60
ACA	0,63	20,50 aB	12,15 bB	16,32
Média	-	18,00	11,21	-

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 7. Médias de pH, condutividade elétrica (CEes), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,4 m a 0,6 m, antes do plantio (T₀) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	T _o	Ciclo de cultivo ⁽¹⁾		Média
		1	2	
pH				
APO	6,77	7,38 bC	8,04 aA	7,71
APF	6,78	8,69 aA	8,23 bA	8,46
ACA	6,84	8,23 aB	8,30 aA	8,26
Média	-	8,10	8,19	-
CE _{es} (dS m ⁻¹)				
APO	0,08	0,59	0,35	0,47 B
APF	0,09	1,20	0,87	1,03 A
ACA	0,07	0,67	0,52	0,60 B
Média	-	0,82 a	0,58 b	-
Na (mmol _c kg ⁻¹)				
APO	0,12	0,72	0,60	0,66 C
APF	0,15	4,13	2,89	3,51 A
ACA	0,15	1,84	1,13	1,49 B
Média	-	2,23 a	1,54 b	-
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}				
APO	0,75	0,96	3,44	2,20 C
APF	0,77	12,30	16,37	14,34 A
ACA	0,34	8,61	10,10	9,34 B
Média	-	7,29 b	9,97 a	-
PST (%)				
APO	0,71	4,73	3,91	4,32 C
APF	0,96	32,11	20,78	26,45 A
ACA	1,02	15,15	9,90	12,52 B
Média	-	17,33 a	11,53 b	-

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 8. Médias de pH, condutividade elétrica (CEes), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,6 m a 0,8 m, antes do plantio (T0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	T ₀	Ciclo de cultivo ⁽¹⁾		Média
		1	2	
pH				
APO	6,93	7,12 bC	7,96 aA	7,54
APF	6,89	8,60 aA	8,11 bA	8,36
ACA	6,85	7,99 aB	7,95 aA	7,97
Média	-	7,90	8,01	-
CE _{es} (dS m ⁻¹)				
APO	0,10	0,41	0,37	0,38 B
APF	0,09	1,18	0,94	1,06 A
ACA	0,09	0,37	0,40	0,39 B
Média	-	0,65 a	0,57 a	-
Na (mmol _c kg ⁻¹)				
APO	0,12	0,28 aC	0,56 aC	0,42
APF	0,12	3,26 aA	2,37 bA	2,81
ACA	0,15	1,31 aB	1,03 aB	1,17
Média	-	1,62	1,32	-
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}				
APO	0,72	2,13	2,60	2,36 C
APF	0,54	12,35	17,21	14,78 A
ACA	0,50	6,60	8,61	7,60 B
Média	-	7,02 a	9,47 a	-
PST (%)				
APO	0,91	2,67	3,72	3,19 C
APF	0,86	29,09	18,11	23,60 A
ACA	1,05	12,76	10,59	11,68 B
Média	-	14,84 a	10,81 b	-

⁽¹⁾Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 9. Médias de pH, condutividade elétrica (CEes), teor de sódio (Na) e razão de adsorção de sódio (RAS) no extrato saturado do solo e de porcentagem de sódio trocável (PST), na camada de 0,8 m a 1,0 m, antes do plantio (T0) e após dois ciclos de cultivo de mamoneira irrigado com três tipos de água.

Tipo de água	T ₀	Ciclo de cultivo ⁽¹⁾		Média
		1	2	
pH				
APO	6,93	7,18 bC	7,99 aA	7,58
APF	6,91	8,50 aA	8,05 bA	8,28
ACA	6,87	7,71 bB	8,05 aA	7,87
Média	-	7,79	8,03	-
CE _{es} (dS m ⁻¹)				
APO	0,08	0,39	0,32	0,36 B
APF	0,08	1,03	0,81	0,92 A
ACA	0,07	0,32	0,33	0,32 B
Média	-	0,58 a	0,49 a	-
Na (mmol _e kg ⁻¹)				
APO	0,11	0,22 aC	0,48 aC	0,35
APF	0,11	3,03 aA	2,27 bA	2,65
ACA	0,13	0,99 aB	1,13 aB	1,06
Média	-	1,41	1,29	-
RAS (mmol _e L ⁻¹) ^{0,5}				
APO	0,67	1,09	2,36	1,73 C
APF	0,49	13,83	15,78	14,80 A
ACA	0,62	5,81	8,59	7,20 B
Média	-	6,91 b	8,91 a	-
PST (%)				
APO	0,85	2,25	3,18	2,71 C
APF	0,85	30,45	19,29	24,87 A
ACA	1,16	10,43	11,73	11,07 B
Média	-	14,37 a	11,40 a	-

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O tratamento APF apresentou valores de condutividade elétrica do extrato saturado (CEes) mais elevados que os demais, em todas as camadas analisadas, não se observando diferenças significativas entre o tratamento APO e a testemunha. Ao final do segundo ciclo de cultivo, foram observadas reduções significativas da CEes nas camadas de solo de 0,0 m a 0,6 m, em todos os tratamentos, em relação ao primeiro ciclo.

De acordo com Pizarro (1985), para valores de CEes abaixo de 2 dS m^{-1} , como os observados em todos os tratamentos no segundo ciclo de cultivo, os efeitos sobre as culturas em geral são desprezíveis. Quando a CEes se encontra na faixa de 2 dS m^{-1} a 4 dS m^{-1} , como verificado na camada de 0,0-0,2 m do solo irrigado com a APF após o primeiro ciclo de cultivo, os rendimentos das culturas sensíveis à salinidade são afetados.

Segundo os índices de qualidade de águas salinas adotados por Rhoades et al. (1992) e considerando-se a condutividade elétrica (CEa) da APF e do extrato saturado do solo (CEes), tal água poderia ser utilizada na irrigação de culturas moderadamente tolerantes ou tolerantes à salinidade, em solos arenosos com boa drenagem, enquanto as águas APO e ACA poderiam ser utilizadas na irrigação de qualquer tipo de cultivo.

Após o primeiro e o segundo ciclos de cultivo, o teor trocável de Na^+ foi mais elevado no solo irrigado com APF, comparado ao solo irrigado com ACA e APO, em todas as camadas de solo avaliadas. Por sua vez, o solo irrigado com APO apresentou menor teor de sódio trocável que a testemunha. Ao final do segundo ciclo de cultivo, os teores de Na^+ trocável diminuíram em todas as camadas de solo no tratamento APF e nas camadas de 0,0-0,4 m no tratamento ACA. No tratamento APO, não houve redução significativa dos teores de Na^+ trocável nas camadas de solo analisadas entre o primeiro e o segundo ciclo.

Com relação à RAS do extrato saturado do solo, o tratamento APF apresentou valores mais altos que a testemunha (ACA), e o tratamento

APO apresentou valores mais baixos que os dos demais nas camadas de solo analisadas. Entre o primeiro e o segundo ciclos de cultivo, houve tendência de aumento da RAS na camada de 0,6 m a 1,0 m em todos os tratamentos.

A porcentagem de sódio trocável (PST) do solo foi mais elevada no solo irrigado com a APF em relação aos demais tratamentos em todas as camadas de solo. Isso se deve à maior concentração salina da APF e, principalmente, ao maior teor de sódio trocável em relação às demais águas. Houve redução do valor da PST quando se compara o ciclo 1 com o ciclo 2, que pode ser atribuída à lavagem e lixiviação dos sais pela água da precipitação ocorrida no segundo ciclo. Por sua vez, o solo irrigado com a APO apresentou valores de PST inferiores aos demais tratamentos em todas as camadas, fato atribuído ao seu menor teor de sódio e menor RAS em relação às demais águas.

Em geral, houve redução da PST ao final do segundo ciclo em relação ao primeiro ciclo nos tratamentos APF e ACA, tendência não observada no tratamento com água de menor teor de sais (APO). Levando-se em consideração a textura arenosa do solo e a profundidade do lençol freático (abaixo de 50 m), as reduções dos valores de pH, CEes, Na^+ trocável e PST ao final do segundo ciclo de cultivo, em relação ao primeiro ciclo podem ser explicadas pela lixiviação dos sais para as camadas inferiores no perfil do solo, ocorrida durante a estação chuvosa de 2013. Entre o final do primeiro ciclo de cultivo (dezembro de 2012) e o final do segundo (agosto de 2013), foram registrados 646 mm de precipitação na área experimental. Com a lixiviação dos sais, houve tendência de uniformização dos valores de pH, CEes, Na^+ trocável e PST nas diferentes camadas do solo e de redução das diferenças entre os tratamentos de irrigação no segundo ciclo de cultivo (Figuras 1 e 2).

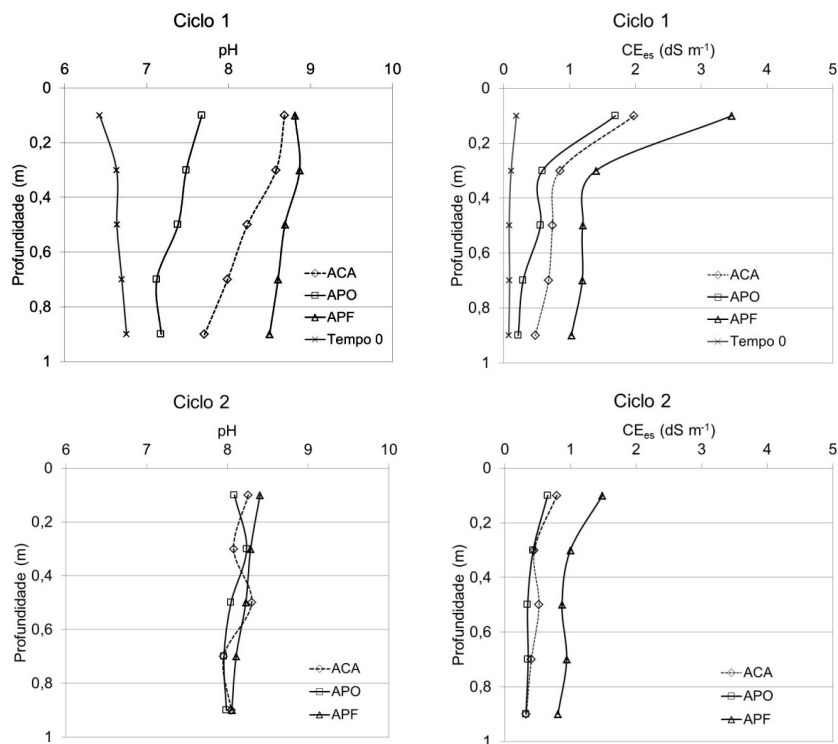


Figura 1. Variações do pH e da condutividade elétrica do extrato de solo saturado (CE_{es}), em função da profundidade e do tipo de água utilizado na irrigação, em dois ciclos de cultivo de mamoneira.

De acordo com a classificação apresentada por Rhoades et al. (1992), as águas APO e ACA foram classificadas como não salinas, em termos da concentração total de sais, enquanto APF foi classificada como moderadamente salina. Esta última, de acordo com as diretrizes da FAO (AYERS; WESTCOT, 1985), apresentou grau de restrição severo para a irrigação quanto ao risco de sodicidade do solo ($RAS = 39,82 \text{ (mmolc L}^{-1})0,5$) e grau de restrição moderado quanto ao risco de salinidade ($CEa = 2,67 \text{ dS m}^{-1}$). Por sua vez, ACA e APO também apresentaram grau de restrição severo quanto ao risco de sodicidade, valores médios de RAS iguais a $22,61$ e $20,89 \text{ (mmolc L}^{-1})0,5$, respectivamente, e restrição moderada ($CEa = 0,72 \text{ dS m}^{-1}$) e nenhuma restrição ($CEa = 0,53 \text{ dS m}^{-1}$), respectivamente, quanto ao risco de salinidade para as culturas.

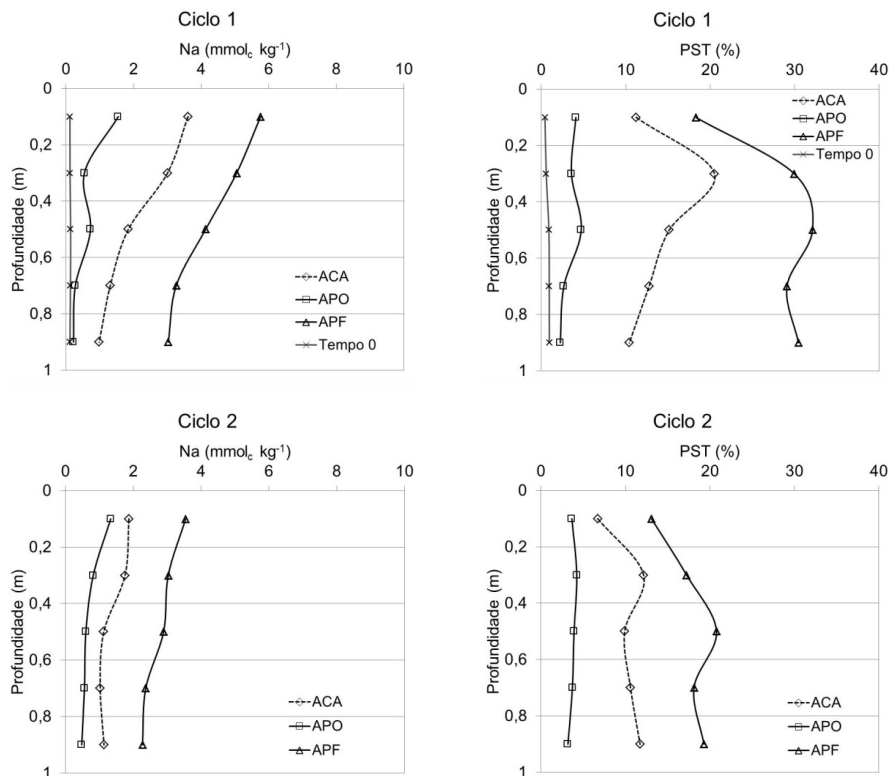


Figura 2. Variações do teor de sódio trocável e da porcentagem de sódio trocável (PST) em função da profundidade e do tipo de água utilizado na irrigação, em dois ciclos de cultivo de mamona.

O grau de restrição severo com relação à sodicidade indica que, embora a água possa ser usada para a irrigação, podem ocorrer problemas de redução da infiltração da água no solo, havendo necessidade da adoção de práticas de manejo adequadas para a manutenção da estrutura do solo. No caso da restrição moderada quanto à salinidade, o alcance do potencial máximo de rendimento do cultivo exige cuidado maior na escolha de culturas e cultivares adaptadas a essa condição e uso de práticas de manejo da irrigação adequadas (AYERS; WESTCOT, 1985).

De acordo com a classificação proposta por Pizarro (1985), após dois ciclos de cultivo da mamoneira, o solo irrigado com a APO pode ser

classificado como normal quanto à salinidade e sodicidade, podendo ser utilizado para o cultivo de qualquer tipo de cultura. Por outro lado, o solo irrigado com APF tornou-se sódico ($CE_{es} < 2 \text{ dS m}^{-1}$ e $PST > 7\%$), ou seja, contém teores de sódio (adsorvido no complexo de troca e solúvel no extrato saturado) suficientes para desenvolver propriedades físicas e químicas desfavoráveis ao crescimento de algumas culturas. O mesmo ocorreu com o solo irrigado com a ACA, a qual também apresenta alto teor de sódio ($11 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$). Nessas condições, o solo poderia ser cultivado apenas com espécies mais tolerantes ao sódio e requer, para sua recuperação, a aplicação de corretivos e a lixiviação de sais.

A redução da PST nos solos irrigados com ACA e APF no segundo ciclo de cultivo em relação ao primeiro permite supor que, em virtude da boa drenagem natural do solo, a aplicação de gesso, aliada à lixiviação do sódio, poderia manter a salinidade e a sodicidade do solo em níveis aceitáveis, mesmo utilizando a APF na irrigação. Uma alternativa a ser analisada seria a aplicação de fertilizantes solúveis contendo cálcio e magnésio via fertirrigação, que, segundo Arthur et al. (2005), podem ser utilizados para o ajuste da RAS da água produzida, visando melhorar sua qualidade para o uso na irrigação.

Alguns exemplos de utilização de água produzida no processo de exploração de carvão na irrigação, em que a salinidade e a sodicidade do solo foram mantidas em níveis toleráveis por meio da lixiviação de sais e da aplicação de corretivos (geralmente gesso), proporcionando produções satisfatórias de espécies forrageiras (ALL CONSULTING, 2003). Nesses casos, o cultivo em solos arenosos facilitou a aplicação de grandes volumes de água produzida e a manutenção da permeabilidade do solo.

Rendimento da cultura

Os rendimentos obtidos no tratamento APF no primeiro e no segundo ciclos de cultivo foram semelhantes entre si e significativamente mais baixos ($p < 0,05$) que os obtidos no tratamento ACA (Tabela 10). Considerando-se a média dos dois ciclos de cultivo, a produtividade

da mamoneira irrigada com APF foi 31 % inferior àquela obtida com ACA. Com relação à massa de mil sementes, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos em ambos os ciclos.

Tabela 10. Médias de produtividade e massa de mil sementes, em dois ciclos de produção da mamoneira ‘BRS Energia’, irrigada com diferentes tipos de água.

Tipo de água	Ciclo de cultivo ⁽¹⁾		Média
	1	2	
Produtividade (kg ha ⁻¹)			
APO	599,0 bC	1.386,3 aA	992,7
APF	826,7 aB	891,7 aB	859,2
ACA	1.211,0 aA	1.273,3 aA	1.242,2
Média	878,9	1.183,8	-
Massa de mil sementes (g)			
APO	296,7	315,0	305,8
APF	301,7	319,0	310,3
ACA	310,0	312,3	311,2
Média	302,8	315,4	-

⁽¹⁾ Médias seguidas de mesma letra minúscula nas linhas e maiúscula nas colunas não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

No primeiro ciclo de cultivo, a produtividade da mamoneira irrigada com APO foi prejudicada em relação aos demais tratamentos, em virtude de falhas no fornecimento dessa água ao longo do ciclo da cultura. Considerando-se apenas os resultados do segundo ciclo de cultivo, a produtividade do tratamento APO foi superior à do tratamento APF e não apresentou diferença significativa em relação à testemunha (ACA).

Os resultados de rendimento da mamoneira refletem os níveis de salinidade do solo após as irrigações e os teores de íons potencialmente tóxicos para as plantas, como Na⁺ e Cl⁻, encontrados em maiores níveis em APF em relação às águas ACA e APO. A presença desses íons, aliada à baixa capacidade de ajustamento osmótico da cultura e à redução do potencial total da água provocada pelo aumento da concentração salina, provavelmente comprometeu a capacidade produtiva da mamoneira irrigada com APF (LIMA et al., 2015).

De acordo com as análises de água realizadas ao longo do experimento (Tabela 3), a APO apresentou grau de restrição leve a moderado quanto ao risco de toxicidade do íon Na^+ ($4,54 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$) e nenhum para o íon cloreto ($2,50 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$), segundo a classificação proposta por Ayers e Westcot (1985). Já APF apresentou níveis elevados de íons Na^+ e Cl^- , não sendo recomendado seu uso na irrigação por aspersão, podendo causar danos a várias culturas, dependendo da tolerância a esses íons. No entanto, os sintomas típicos de toxidez por Na^+ e Cl^- , como necroses e queimaduras nas folhas, não foram observados nos cultivos de mamona em nenhum dos tratamentos.

Segundo Ayers e Westcot (1985), a mamoneira é considerada uma planta moderadamente sensível à salinidade, ou seja, é esperada uma redução do rendimento da cultura quando irrigada com água com CE_a acima de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$. Para uma CE_a de $2,7 \text{ dS m}^{-1}$, caso de APF, a queda de rendimento pode variar de 10% a 40%.

Segundo Lima et al. (2015), a irrigação com água de CE_a igual a $2,7 \text{ dS m}^{-1}$ reduziu a produção de grãos da mamoneira em 32% em relação à irrigação com água de salinidade igual a $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, índice semelhante ao encontrado no presente estudo.

Por sua vez, Silva et al. (2008) observaram redução de 61% na área foliar de plantas de mamoneira da cultivar BRS Energia irrigadas com água cuja CE_a era de $2,7 \text{ dS m}^{-1}$ (semelhante a APF), em relação à irrigação com água de CE_a de $0,7 \text{ dS m}^{-1}$. Nobre et al. (2012) relataram a resposta linear negativa sobre a produção de fitomassa de mamoneira 'BRS Energia' ao aumento da salinidade da água de irrigação, com uma redução média de 15,6%, para cada acréscimo de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$ na CE_a .

Observou-se no presente estudo que não ocorreram reduções da produtividade e da massa das sementes no segundo ciclo de cultivo em relação ao primeiro ciclo em todos os tratamentos. Esse dado confirma os resultados das análises de solo, as quais mostraram que não houve aumento da salinidade do solo no segundo ciclo de cultivo em relação ao primeiro ciclo, fato que provavelmente se deve à lixiviação dos sais,

em virtude da maior taxa de precipitação que ocorreu no segundo ciclo de cultivo em relação ao primeiro.

Conclusões

A irrigação com a água produzida tratada por osmose reversa (APO) não afeta a produtividade da cultura da mamoneira 'BRS Energia', a salinidade (CE_{es}) e a sodicidade (Na^+ trocável e PST) do solo, podendo ser utilizada sem restrições.

A irrigação com a água produzida tratada por filtração (APF) reduz a produtividade da mamoneira 'BRS Energia' e eleva os níveis de salinidade e sodicidade do Neossolo Quartzarênico.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Petrobras (Petróleo Brasileiro S.A.) pelo financiamento para a realização da pesquisa.

Referências

ALL CONSULTING. **Handbook on coal bed methane produced water: management and beneficial use alternatives**. Tulsa, 2003. 322 p. Disponível em: <http://www.all-llc.com/publicdownloads/CBM_BU_Screen.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2015.

ALLEN, R.; ROBINSON, K. **Environmental aspects of produced water disposal**. Houston: SPE, 1993.

AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation (DOWS). **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90, p. 2186-2195, 2012.

ARTHUR, J. D.; LANGHUS, B. D.; PATEL, C. **Technical summary of oil & gas produced water treatment technologies**. Tulsa: ALL Consulting, 2005. 53 p.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **Water quality for agriculture**. Roma: FAO, 1985, 174 p. (Irrigation and Drainage Paper, 29)

SILVA, F. C. da (Org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 627 p.

FAKHURU'L-RAZI, A.; PENDASHTAH, A.; ABDULLAH, L.C.; BIAK, D. R. A.; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 2, p. 530-551, 2009.

LIMA, G. S.; NOBRE, R. G.; GHEYI, H. R.; SOARES, L. A. A.; SILVA, A. O. Produção da mamoneira cultivada com águas salinas e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 46, n. 1, p. 1-10, 2015.

MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOCK, A.; ESQUERRE, K. P., ARAÚJO, P. M. BRANCO, L. P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 15-26, 2013.

NOBRE, R. G.; LIMA, G. S.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, E. P.; SOARES, L. A. A.; ALVES, A. N. Teor de óleo e produtividade da mamoneira de acordo com a adubação nitrogenada e irrigação com água salina. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 7, p. 991-999, 2012.

NUNES, G. C. Water treatment in brown fields. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON OILFIELD WATER MANAGEMENT, 3., 2010, Rio de Janeiro. **Apresentações...** Rio de Janeiro: IBP: SPE, 2010.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperacion de suelos salinos**. 2 ed. Madrid: Agrícola Española, 1985. 521 p.

RHOADES, J. D.; KANDIAH, A.; MASHALI, A. M. **The use of saline waters for crop production**. Roma: FAO, 1992, 133 p. (FAO. Irrigation and Drainage. Paper, 48).

SILVA, S. M. S.; ALVES, A. N.; GHEYI, H. R.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S.; SOARES, F. A. L. Desenvolvimento e produção de duas cultivares de mamoneira sob estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 335-342, 2008.

STEWART, M.; ARNOLD, K. **Produced water treatment field manual**. Waltham: Gulf, 2011. 260 p.



Agroindústria Tropical



MINISTÉRIO DA
**AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO**

